

Janusz R. RAK

POLITECHNIKA RZESZOWSKA

# BEZPIECZEŃSTWO ZAOPATRZENIA W WODĘ WODOCIĄGOWĄ

## SAFETY OF TAP WATER SUPPLY

*The human right to water has already rich international history. Most notable is the UN General Assembly Resolution of July 2010. The work constitutes interdisciplinary analysis of the evolution of the right to water. In detail, reference is made to the water safety in terms of European legislation. The European Union considers the right to water as an essential element of human rights. The concept of water footprint and virtual water as a new concept in water policy and water management was presented. Assumptions of sustainable development regarding water resources were specified. The final piece of work concerns the assessment methods of water resources. Resolve conflicts over water on the military way always leads to losses of parties taking part in them. In the work analysis and assessment of people hazard and their possession in case of water system failure was presented.*

## 1. Wprowadzenie

Ryzyko (ang. *risk*, niem. *risiko*, franc. *risque*) jest pojęciem wieloznacznym, co odzwierciedlają liczne definicje i metody jego pomiaru. Etymologia słowa ryzyko wywodzi się ze starożytności *risicare*, które oznaczało „ośmielić się, stawić czoło, odważyć się”. Greckie *rhize* odnosi się do śmiałego czynu np. opłynięcia przylądka. Łacińskie *risicum* oznacza prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia negatywnego lub pozytywnego, porażki lub sukcesu [2].

Starożytni Grecy i Rzymianie prowadzili obserwacje przyczynowo-skutkowe pomiędzy warunkami środowiska, a stanem zdrowia lokalnych społeczności. W IV wieku p.n.e. Hipokrates stwierdził zagrożenia dla zdrowia ludzi wynikające z warunków zewnętrznych. W I wieku p.n.e. Vitruwiusz odkrył toksyczność ołowiu. W tamtych czasach interesowano się zagrożeniami i pośrednio ryzykiem w odniesieniu do zdrowia człowieka. Mroczne średniowiecze nie przyczyniło się do postępu badań nad ryzykiem w odniesieniu zarówno do funkcjonowania pojedynczych ludzi, jak i całych społeczności. Ponownie dopiero w XVII wieku Agricola badał wpływ pracy górników w kopalniach na ich zdrowie. W roku 1657 Pascal w podparyskim klasztorze wraz ze swoimi uczniami opublikował dzieło „Logika, czyli sztuka myślenia”, które stało się podstawą do definicji ryzyka, że jest ono proporcjonalne do prawdopodobieństwa zdarzenia i wielkości niebezpieczeństwa.

Z kolei Halley w 1693 roku opracował tablice długości życia ludzi, co zapoczątkowało metodologiczne funkcjonowanie firm ubezpieczeniowych. Także w tym czasie Evelyn prowadząc badania stanu zdrowia mieszkańców Londynu stwierdził, że smog i dym są przyczyną chorób płuc [2].

Zapewnienie bezpieczeństwa obywateli RP należy do podstawowych obowiązków państwa na mocy postanowień Konstytucji (art. 5, 38 i 74) i aktów prawnych niższego rzędu takich jak ustawy i rozporządzenia. Dotyczą one organizacji działań na rzecz bezpieczeństwa z pozycji różnych poziomów struktur państwa i różnych obszarów życia jego obywateli. Problematyka bezpieczeństwa z należytą uwagą dostrzegana jest przez organy administracji państwowej i samorządowej [33]. Objawia się to lepszą organizacją działań na rzecz bezpieczeństwa biotechnicznego i większą ich skutecznością.

Jednak największy udział w tym zakresie przypada inżynierskim metodom rozwiązywania problemów bezpieczeństwa [17,19,20]. Wynika to z faktu, że to inżynierowie są twórcami techniki, z którą związane są źródła zagrożeń cywilizacyjnych. Nowa dyscyplina nauki jaką jest inżynieria bezpieczeństwa pozwoliła na twórcze zastosowania metod analizy i oceny ryzyka [25,27]. Systemy bezpieczeństwa w różnej skali pozwalają na zarządzanie ryzykiem z możliwością jego redukcji. Umożliwiają przeciwdziałanie zagrożeniom (także nietechnicznym związanym z działaniem sił natury), a co za tym idzie zmniejszać konsekwencje zdarzeń niepożądanych w postaci strat i krzywd (ogólnie szkód). Ten znaczący wzrost bezpieczeństwa w projektowaniu i eksploatacji systemów biotechnicznych (człowiek – technika – środowisko) jest skutkiem wzrostu wiedzy naukowej, a w szczególności nauki o bezpieczeństwie [4,6]. Woda do spożycia to podstawowy artykuł spożywczy i środek higieny. Niezawodny i bezpieczny system zbiorowego zaopatrzenia w wodę (SZZW) decyduje w znacznym stopniu o zdrowiu i dobrobycie społeczeństwa. Osiągnięcie tak sformułowanego celu wymaga zintegrowanych analiz i kontroli ryzyka. Obowiązującym staje się paradygmat, że to przedsiębiorstwo wodociągowe musi zapewnić i udowodnić, że jakość oferowanej przez nie wody wodociągowej w dowolnej chwili czasu nie stanowi zagrożenia zdrowotnego dla ludzi [6,14]. Przedsiębiorstwo wodociągowe powinno zorganizować system własnej kontroli od momentu pozyskiwania wody surowej, poprzez jej uzdatnianie, transport, przechowywanie, dystrybucję aż do dostawy produktu końcowego klientowi. Odbiorcy okresowo powinni być informowani o jakości i ewentualnych zagrożeniach związanych z konsumpcją wody wodociągowej. System zapewnienia jakości wody opiera się o procedury stosowane w produkcji artykułów spożywczych HACCP (ang. *Hazard Analysis and Critical Control Points*) poprzez wyznaczenie miejsc lub punktów, które stanowią zwiększone zagrożenie dla jakości wody do spożycia [18,26].

Znany starożytny myśliciel grecki Tales z Miletu w sposób jakże lapidarny przedstawił myśl uważaną za jedną z pierwszych teorii naukowych „... wszystko jest z wody, z wody powstało i z wody się składa...”, która przetrwała ponad 25 wieków. Pierwsze zapisane kryteria względem bezpieczeństwa zawarte zostały w kodeksie króla Babilonii Hammurabiego (XVIII w p.n.e.), w którym między innymi zakazywano otwierania śluz na kanałach nawadniających, jeżeli mogłoby to doprowadzić do zalania przyległych terenów rolniczych. Arystoteles w swoim dziele „Logika” (380 r p.n.e.) zdefiniował jakość „jest to, na mocy, czego rzeczy są w pewien sposób określone”. Widmo katastrof związanych z infrastrukturą wodną towarzyszy cywilizacji od przeszło 5 tys. laty [12].

Bezpieczeństwo wodne jako synonim zapewnienia wody każdemu człowiekowi jest stanem pożądanym bez względu na ustrój polityczny czy uwarunkowania społeczno-gospodarcze [14]. Rozwój cywilizacji, czy warunki klimatyczne generują zjawisko braku możliwości zapewnienia wody mieszkańcom wielu krajów świata [12].

Obecnie światowym trendem stają się metody oceny ryzyka do oceny bezpieczeństwa dostępu do naturalnych zasobów wody [23,24].

Jeszcze do niedawna bezpieczeństwo infrastruktury wodnej kojarzono jedynie z dobrym jej stanem technicznym. Obecnie bezpieczeństwo odnosi się do jego szerszego znaczenia. Dotyczy ono systemu człowiek - technika – środowisko [8].

Takie pojmowanie bezpieczeństwa zwiększyło liczbę analizowanych zagrożeń, co z kolei spowodowało świadome zwiększenie odporności infrastruktury wodnej na zdarzenia niepożądane, a co za tym idzie wzrost tegoż bezpieczeństwa.

Z drugiej strony woda znalazła się w orbicie zainteresowań polityków i strategów wojskowych z powodu pojawiających się kryzysów wodnych. W ten sposób współcześnie woda - źródło życia, stała się źródłem konfliktów, a nawet działań wojennych w walce o wodę [12]. Warto przytoczyć ocenę hydrologów, że światowe zasoby wody słodkiej stanowią jedynie 3% całkowitych zasobów, z czego tylko 1% dostępny jest dla ludzi. Statystyczna cząsteczka wody w okresie 100 lat, przez 98 lat przebywa w morzach i oceanach, przez 20 miesięcy ma postać lodu, przez 2 tygodnie przebywa w rzekach i jeziorach, a przez tydzień unosi się w atmosferze [31].

Celem pracy jest pokazanie kontekstu historyczno – geograficznego na debaty toczące się w Afryce, Azji, Bliskim Wschodzie, Ameryce Łacińskiej, Ameryce Północnej i Unii Europejskiej związane z powszechnym prawem do wody. Rozpatruje sytuację paradoksalną, które objawiają się w naukowych dyskusjach starających się nadać prawu do wody realne znaczenie. Treść pracy należy traktować jako głos w interdyscyplinarnej dyskusji nad kształtowaniem prawa do wody i wieloaspektowym bezpieczeństwem związanym z jej użytkowaniem.

## 2. Charakterystyka prawa do wody

Woda, prawo i ludzie splatają się w procesie hydrospołecznym, i takie podejście stanowi kierunek stanowienia prawa człowieka do wody [7].

Początki zmian w globalnym zarządzaniu wodą datuje się na rok 1977, kiedy to na ONZ-towskiej konferencji Mar del Plata przyjęto stanowisko negujące tezę o obfitości zasobów wody na świecie. Zaczęło obowiązywać twierdzenie, że ludzkość nie może czuć się bezpieczna w związku z wodą, ponieważ nastąpiły czasy jej niedoboru. W ten sposób powstał kierunek badań związany z globalnym zarządzaniem zasobami wodnymi [5].

28 lipca 2010 roku Zgromadzenie Ogólne ONZ przyjęło rezolucję, która prawo do zdatnej do picia, czystej, smacznej, zdrowej wody uznała za prawo człowieka niezbędne, by móc w pełni korzystać z życia. We wrześniu 2010 roku Rada Praw człowieka ONZ przyjęła rezolucję, która potwierdziła, że prawo do wody i urządzeń sanitarnych jest prawem człowieka. Obie te uchwały są milowym krokiem o sprawiedliwy dostęp do wody i jej zasobów, a równocześnie spełniają postulaty Szczytu Ziemi w Rio de Janeiro z 1992 roku. Istnieją dwa podstawowe prawa, które wskazują kierunek działań o sprawiedliwy dostęp do wody i możliwość korzystania z jej zasobów, ale istnieją też zagrożenia. Przebija się pogląd, by nadać wodzie status dobra ekonomicznego, co budzi obawy, że pełne pokrycie kosztów zaopatrzenia w wodę będzie uniemożliwiało najbardziej potrzebny dostęp do niej. Trwają rozważania na temat skutków prywatyzacji usług komunalnych. Tak więc, prawo do wody i korzystanie z jej zasobów napotyka na działania rynku, sektora prywatnego i komercjalizacji zasad zaopatrzenia w wodę - utowarowania wody [22,30]. Prawo do wody nie określa bowiem, w jaki sposób społeczności upośledzone mają być w nią zaopatrywane, ani kto ma to realizować i nadzorować. Wcielenie w praktykę dnia codziennego prawa do wody musi być poprzedzone pytaniem – jak najlepiej to zrobić?

Bezpieczna woda stanowi jeden z ważniejszych obszarów wpływających na zdrowie człowieka [28,29]. Współczesny konsument ma możliwość wyboru wody do spożycia. Oprócz wody wodociągowej ludzie korzystają z butelkowanych wód mineralnych, ze sprzedaży obwoźnej wody, wody studziennej oraz dowożą wodę ze sprawdzonych źródeł naturalnych. Ponadto styl życia oraz czynniki materialne wpływają na decyzję spożywania danego rodzaju wody. Według badań przeprowadzonych w Politechnice Rzeszowskiej 78% respondentów wskazało dobrą jakość wody, jej walory zdrowotne i bezpieczeństwo, jako główne priorytety polityki władz lokalnych.

Z kolei 69% badanej populacji wskazało zapewnienie rozsądnych cen wody dla konsumentów, natomiast 57% zwróciło uwagę na kwestie ochrony środowiska i zmiany klimatyczne. 47% populacji w dużym stopniu zaniepokojona jest problematyką bezpieczeństwa cyklu wodnego, przy czym tylko 5 % nie dostrzega zagrożeń z tym związanych spożywając wodę. Natomiast 83% łączy spożywanie bezpiecznej wody z wyborem świeżych, smacznych i zdrowych produktów żywnościowych, a jedynie dla 2% konsumentów czysta, smaczna i zdrowa woda nie ma znaczenia. 55% konsumentów chce otrzymywać więcej informacji z zakresu jakości i bezpieczeństwa wody, przy czym 90% konsumentów słyszało informacje na temat zagrożeń bezpieczeństwa wodnego w mediach. Z kolei tylko 18% konsumentów deklaruje zmianę swoich nawyków związanych ze spożywaniem wody i napojów pod wpływem przekazów medialnych, ale już 70 % na skutek konkretnej negatywnej opinii na temat wody mineralnej zaprzestało jej spożywania [21].

### 3. Przykłady podejścia metodycznego do prawa do wody

Charakter i szanse powodzenia zmagania w ramach prawa do wody kształtują nierówności społeczne. W krajach globalnego Południa zapatrzenie w wodę gospodarstw domowych spada na barki dziewczyn i kobiet. Brak poczucia bezpieczeństwa i niesprawiedliwości związane dostępowo do wody powiązane są z różnorodnymi czynnikami [15].

W krajach uznawanych za biedne, w których skorumpowana władza jest nieudolna do zarządzania zasobami wodnymi, zaopatrzenie w wodę powinno przechodzić do sektora prywatnego. Takie podejście musi odbywać się iteracyjnie, czyli poprzez wielokrotne stosowanie danych przekształceń. Na IV Światowym Forum Wody przyjęto „rozmytą interpretację” prawa człowieka do wody, a rola prywatnych przedsiębiorstw została oficjalnie usankcjonowana. W Buenos Aires, Dżakarcie, La Paz, Manili rozwiązano umowy z prywatnymi przedsiębiorstwami na dostawę wody, dlatego, że właściciele prywatni nie potrafili osiągnąć zadawalającego stosunku do ryzyka. Ubogie społeczności nie są w stanie spełnić stosownych warunków sektora prywatnego. Prywatna własność systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę i prywatne zarządzanie nimi jest możliwe, ale sama woda nie. Rzeczniczy rynkowego podejścia twierdzą, że woda powinna być traktowana jak każde dobro niezbędne do życia, np.: żywność.

Przeciwnicy własności prywatnej twierdzą, że woda ma walor kulturowy oraz duchowy, i z tego powodu jako dobro publiczne nie może podlegać prawom rynku. To wszystko implikuje, że współcześnie funkcjonują trzy modele zaopatrzenia w wodę [6]:

- państwowy,
- spółdzielczy,
- korporacyjny (prywatny).

W praktyce funkcjonują modele mieszane. W Holandii zachowana jest własność państwa, a świadczenie usług przekazuje się korporacją. W Danii preferuje się stowarzyszenia, które odpowiadają na potrzeby społeczności lokalnych. We Francji powszechnie wodociągami miejskimi zarządza sektor prywatny na podstawie tzw. umów czasowych. Modele teoretyczne zupełnie nie sprawdzają się w krajach globalnego Południa. Tam publiczne wodociągi doprowadzają wodę jedynie do bogatych dzielnic miast. Mieszkańcy biednych dzielnic sami organizują sobie dostawę wody. Z reguły zmuszeni są korzystać z nieformalnych, komercyjnych dostaw wody od sprzedawców prywatnych lub różnego rodzaju studni.

Wg Gleicka dostawca wywiązuje się z obowiązku dostarczenia wody dopiero wtedy, gdy dostawy osiągają pułap 50 dm<sup>3</sup>/dobę [7].

Nawet w krajach Europy Zachodniej dostęp do wody staje się coraz bardziej asymetryczny. Rząd brytyjski w 2009 roku, podaje, że gospodarstwa domowe wydające ponad 3% całego dochodu na usługi wodne staje się problemem kraju społecznym i politycznym [34].

## 4. Bezpieczeństwo wodne w przepisach europejskich

Na forum ministerialnym w Hadze, 2000 rok, przyjęto dokument „Bezpieczeństwo wodne w XXI wieku”. Zapewnienie bezpiecznego dostępu do wody i korzystania z jej zasobów polega na zaspokojeniu podstawowych potrzeb człowieka poprzez zabezpieczenie zaopatrzenia, ochronę ekosystemów zarządzanie ryzykiem, poszanowanie wody oraz dzielenie się zasobami wodnymi. Bezpieczeństwo należy traktować w kategoriach ochrony i zwiększania aktywów naturalnych. Zalecano promowanie zrównoważonego rozwoju i zapewniania ludziom dostępu do wystarczającej ilości bezpiecznej wody po przystępnej cenie, co prowadzić powinno do zdrowego życia człowieka, wolnego od zagrożeń związanych z wodą (np. suszy, powodzi) [14].

W 2001 roku w Bonn na Międzynarodowej Konferencji w sprawie Wody, bezpieczeństwo określono w następujący sposób: woda powinna być rozdzielona sprawiedliwie i w sposób zrównoważony – najpierw dla zaspokojenia podstawowych potrzeb ludzkich, potem zaś na potrzeby funkcjonowania ekosystemów i do rozmaitych celów gospodarczych obejmujące także bezpieczeństwo żywnościowe. Akcentowany zwrot od niedoborów do bezpieczeństwa nie oznacz, że niesprawiedliwa dystrybucja zasobów wody zniknęła. Ona wciąż istnieje, ale zmienia się kierunek działań – akcentuje się na pierwszym planie bezpieczeństwo. Koncepcja bezpieczeństwa jest reakcją na działania człowieka, a nie tylko na naturalny stan niedoboru wody [29]. W 2011 roku Światowe Forum Ekonomiczne opublikowało dokument „Bezpieczeństwo wodne: związek wody, żywności, energii i klimatu”. Wprowadza on zasadę, że zarządzanie wodą w skali całego świata, to uznanie kwestii niedoboru wody i braku bezpieczeństwa za podstawową [12,24].

W Unii Europejskiej nowe podejście w zarządzaniu wodą wniosła Ramowa Dyrektywa Wodna. W praktyce wodę uznano za dziedzictwo, które musi być chronione, bronione i traktowane jako takie. Od 2000 roku europejskie prawo wodne opiera się na zarządzaniu dorzeczami. Takie podejście zapewnia zintegrowane zarządzanie, którego celem jest unikanie zanieczyszczeń, promowanie zrównoważonego i sprawiedliwego użytkowania zasobów wodnych. Główne zasady unijnego prawa ochrony środowiska to:

- zasada zrównoważonego rozwoju,
- zasada integracji,
- zasada ostrożności,
- zasada prewencji
- zasada, że szkody środowiska powinny być usuwane u źródła,
- zasada „zanieczyszczający płaci”.

Wprowadzenie ochrony prawa do wody wymaga spełnienia następujących warunków:

- odpowiednia ilość – zaopatrzenie w wodę do użytku osobistego i ogólnego (do bezpośredniego spożycia, przygotowania żywności, celów sanitarnych, zapewnienia higieny osobistej i domowej, prania) musi być wystarczająca i mieć charakter ciągły,
- odpowiednia jakość – woda do użytku osobistego i ogólnego musi być bezpieczna (wolna od szkodliwych dla zdrowia mikroorganizmów, substancji chemicznych oraz zagrożeń radiologicznych), zadowalająca musi być jej barwa, zapach i smak,
- dostępność – woda i urządzenia wodne muszą być dostępne bez jakiegokolwiek dyskryminacji. Rozróżnia się dostępność fizyczną (znajdować się w zasięgu wszystkich grup mieszkańców), dostępność bezpieczną (wystarczająca ilość bezpiecznej i akceptowalnej wody w gospodarstwie domowym, szkole i pracy) oraz dostępność ekonomiczną (każdego musi być stać na wodę). Dostęp do wody muszą mieć grupy upośledzone i marginalizowane w społeczeństwie bez żadnych warunków wstępnych,
- prawo do informacji – obejmuje prawo do otrzymywania niezależnych informacji na tematy związane z wodą.

Unia Europejska uważa prawo do wody jako zasadniczy element praw człowieka, a państwa członkowskie zobowiązały się do wcielenia go w życie.

## 5. Pojęcie bezpiecznej wody i bezpieczeństwa wodnego

Pojęcie bezpiecznej wody i bezpieczeństwa wodnego może być analizowane w różnych aspektach. W języku angielskim funkcjonują dwa terminy: water security i water safety. Pierwszy z nich dotyczy bezpiecznej wody do spożycia – woda jest bezpieczna dla zdrowia ludzkiego, jeżeli jest wolna od mikroorganizmów chorobotwórczych i pasożytów w liczbie stanowiącej potencjalne zagrożenie dla zdrowia ludzkiego, substancji chemicznych w ilościach zagrażających zdrowiu oraz nie ma agresywnych właściwości korozyjnych i spełnia standardy określone w załącznikach od 1 do 4 rozporządzenia o jakości wody do spożycia z 28.11.2015 roku: podstawowe wymagania mikrobiologiczne, podstawowe wymagania chemiczne, dodatkowe wymagania mikrobiologiczne, organoleptyczne, fizykochemiczne oraz radiologiczne i dodatkowe wymagania chemiczne. W Polsce nadzór nad jakością wody wodociągowej sprawują właściwe organy Państwowej Inspekcji Sanitarnej.

Drugi termin dotyczy bezpieczeństwa wodnego jako surowca naturalnego i wiąże się z ochroną zasobów wód przed zanieczyszczeniem, problematyką powodzi i suszy, a także zagrożeniami w postaci konfliktów wodnych i zagrożeń terrorystycznych [3]. Poza tym, bezpieczeństwo wodne charakteryzują trzy określenia: „rozporządzalność”, „dostępność” i „adekwatność” [4]. Wszystkie te terminy związane są z prawem człowieka do dostępu do zasobów wody i możliwością zaspokojenia potrzeb w tym zakresie. Rozporządzalność oznacza posiadanie zasobów wody w ilości dostępnej dla danej społeczności w celu podtrzymania funkcji życiowych w dowolnej chwili czasu. Dostępność oznacza powszechność i nie ograniczanie podaży wody na różnorodne cele. Adekwatność oznacza zbilansowanie zasobów wody związane z wymaganą racją pokarmową i celami higieniczno-sanitarnymi.

### Standardy związane z bezpieczeństwem wodnym

Według kryterium wielkości zasobów wodnych w przeliczeniu na jednego mieszkańca standardy opracowane przez World Resources Institute przedstawiają się następująco [7]:

- $< 10^3 \text{ m}^3/\text{mk} \cdot \text{rok}$  – poniżej wodnej bariery zarządzania zasobami wodnymi,
- $10^3 \div 1,7 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{mk} \cdot \text{rok}$  – stres wodny,
- $1,7 \cdot 10^3 \div 5 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{mk} \cdot \text{rok}$  – podstawowe problemy z zarządzaniem zasobami wodnymi,
- $5 \cdot 10^3 \div 1,5 \cdot 10^4 \text{ m}^3/\text{mk} \cdot \text{rok}$  – ograniczone problemy z zarządzaniem zasobami wodnymi
- $1,5 \cdot 10^4 \div 5 \cdot 10^4 \text{ m}^3/\text{mk} \cdot \text{rok}$  – brak problemów z zarządzaniem zasobami wodnymi,
- $> 5 \cdot 10^4 \text{ m}^3/\text{mk} \cdot \text{rok}$  – obfitość wody.

Według WHO/UNICEF za minimalny dostęp do wody uważa się dobowo co najmniej  $20 \text{ dm}^3$  wody na osobę, ze źródła znajdującego się w promieniu 1 kilometra [12].

W kraju, w sytuacjach kryzysowych zaleca się przyjmowanie tzw. niezbędnego zużycia wody na poziomie  $15 \text{ dm}^3/\text{mk} \cdot \text{d}$ . Składa się to na zużycie na następujące cele [22]:

- higiena osobista –  $5 \text{ dm}^3/\text{mk} \cdot \text{d}$ ,
- dla celów spożywczych -  $5 \text{ dm}^3/\text{mk} \cdot \text{d}$ ,
- przygotowanie posiłków -  $4 \text{ dm}^3/\text{mk} \cdot \text{d}$ ,
- mycie naczyń po jedzeniu -  $1 \text{ dm}^3/\text{mk} \cdot \text{d}$ .

## 6. Koncepcja śladu wodnego i wirtualnej wody

Ślad wodny (ang. water footprint) jest to zużycie pośrednie i bezpośrednie wody przez konsumentów [3]. Alternatywny termin to wirtualna woda [9]. Szacuje się, że ślad wodny przeciętnego konsumenta w gospodarstwie domowym w kraju to 1400 dm<sup>3</sup> w ciągu doby. Ślad wodny to woda, którą człowiek zużywa bezpośrednio, oraz ta, która została wykorzystana przy produkcji konsumowanych przez niego dóbr. W ocenie śladu wodnego związanego z konsumpcją żywności uwzględnia się trzy komponenty – niebieski, zielony i szary [3].

Niebieski ślad wodny jest związany z konsumpcją wód powierzchniowych i podziemnych w toku produkcji dóbr. Konsumpcja odnosi się do bilansu wody utraconej w zlewni, następującej w wyniku transpiracji, włączenia wody do produktu lub powrotu wody do innej zlewni.

Zielony ślad wodny odnosi się do konsumpcji wody opadowej, zmagazynowanej w glebie jako jej wilgotność, co jest ważne przy uprawie roślin.

Szary ślad wodny dotyczy zanieczyszczenia wód związany z ilością wody konieczną do zasymilowania ładunku zanieczyszczeń w odniesieniu do normy jakości wody. Bezpośrednio w ciągu doby człowiek zużywa 120 - 150 dm<sup>3</sup>/d, a pośrednio 1200 dm<sup>3</sup>/d.

Początki idei wirtualnej wody pojawiły się w pracach izraelskiego prof. Gideona Fishelso- na w drugiej połowie lat 80 XX wieku, który stwierdził, że wraz z transportem żywności z jednego miejsca w drugie, odbywa się transfer równoważnej ilości wody niezbędnej do wyprodukowania tej żywności. Angielski naukowiec z King's College Uniwersytetu Londyńskiego i School of Oriental and African Studies John Anthony Allan, jest twórcą koncepcji określenia ilości wody zużywanej do produkcji żywności, która przyjęła nazwę „wirtualnej wody”.

Definicja wody wirtualnej może być określana z pozycji [9]:

- konsumpcyjnej – jako ilość wody potrzebnej do wyprodukowania dobra konsumpcyjnego w miejscu jego użytkowania,
- produkcyjnej – jako ilość wody zużytej do produkcji towaru uzależnionej od technologii produkcji i efektywności użytkowania wody.

Pierwsze podejście pozwala na ocenę ilości wody, którą można potencjalnie zaoszczędzić poprzez import towaru zamiast produkcję w miejscu konsumpcji. Handel związany z wirtualną wodą jest środkiem do osiągnięcia bezpieczeństwa w zaopatrzeniu w wodę do spożycia. Łagodzić może deficyty wodne w skali narodowej, a nawet regionalnej.

Koncepcja prof. Allana przeddefiniowała pojęcia w polityce wodnej i zarządzaniu zasobami wodnymi, szczególnie w krajach o małych zasobach wody. Produkty o wysokim zużyciu wody powinny pochodzić z miejsc, w których z punktu widzenia ekonomii wody ich produkcja jest zasadna, a sprzedawane tam gdzie zasoby wody nie uprawniają do ich wytwarzania. W ten sposób wzrasta regionalne i globalne bezpieczeństwo związane z dostępem do wody i towarów konsumpcyjnych, a w szczególności żywności. W częściach świata, gdzie istnieje chroniczny brak wody, można by poprzez import wirtualnej wody (przede wszystkim żywność) zredukować presję na jej ograniczone zasoby. Koncepcja wirtualnej wody łączy problemy rolnictwa, klimatu, ekonomii i polityki w aspekcie zrównoważonego rozwoju [3]. Na rys. 1. pokazano bilans zasobów wód.





Rys. 1. Bilans zużycia i przepływów zasobów wód w ujęciu terytorialnym danego państwa

## 7. Przyczyny konfliktów wodnych

Wojny od zawsze były przedmiotem badań naukowych. Z wojnami kojarzony jest rozwój technologii, postęp działań operacyjnych i logistycznych. Gospodarowanie bogactwem wód naturalnych w historii ludzkości zawsze nosiło znamiona konfliktu. Związane było to z losowymi stanami ekstremalnymi ilości zasobów wód, a także ich stanem czystości. Warto nadmienić, że określenie „rywal” wywodzi się od łacińskiego słowa „rivalis”, które dotyczyło osoby mieszkającej po drugiej stronie tej samej rzeki.

Kraje, które nie mają na swoim terytorium rzek od źródeł do ujścia, stają się uzależnione od sąsiadów z górnego ich biegu. Wrażliwość zasobów wodnych ciągle wzrasta z powodu zwiększonej ich eksploatacji, zanieczyszczenia i degradacji środowiska. Staje się to źródłem społecznej i politycznej niestabilności w wielu regionach świata. Terytorialne problemy z wodą powodują na tym tle konflikty wodne [12].

Konflikt wodny (ang. water conflict), to termin dotyczący sytuacji, w której potrzebna jest interwencja o różnorodnym charakterze (ekonomicznym, prawnym, politycznym) dla jego rozwiązania. Wojna o wodę (ang. water war), to termin określający działania zbrojne (militarne) w celu zawłaszczenia zasobów wody.

Woda w konfliktach zbrojnych występuje jako [12]:

- narzędzie wojenne (np. zniszczenie zapory jest przyczyną zalania terenów, na których przebywa wróg),
- cel działań (np. dysponowanie zasobami wodnymi jest niezbędne do życia i rozwoju społeczności, a ich zatrucie dezorganizuje życie),
- element środowiska (np. naturalne przeszkody wodne stanowią element obronny).

Ogólnie celem konfliktów (sporów) lub stanu wojny jest pozyskanie zasobów wód, lepszego do niej dostępu, ograniczenia możliwych oddziaływań negatywnych, co do ilości, jakości i reżimu hydrologicznego [12]. Na przestrzeni wieków znane jest „odwrotne wykorzystanie” zasobów wodnych, polegające na wykorzystaniu niszczącej siły dużej ilości uwalnianej wody. Takie spektakularne „odwrotne wykorzystanie wody” miało miejsce w Polsce w 1455 roku, kiedy to w obawie przed Krzyżakami mieszkańcy Gdańska doprowadzili do destrukcji wału przeciwpowodziowego Nogatu, powodując zalanie Żuław Elbląskich.

Pierwsze wskaźniki zagrożenia konfliktem opracował w 1980 roku Edward Azara. Skala COPDAB (ang. *The Conflict and Peace Databank*) jest 15 punktowa, gdzie 1 oznacza pełną współpracę, a 15 deklarację wojny. Skala ta została zmodyfikowana przez S. B. Yoffa i A. T. Wolfa do skali BAR (zlewnie podwyższonego ryzyka), gdzie wartość -7 oznacza deklarację wojny o wodę, a +7 oznacza pełną współpracę.

Dostęp do wody zdanej do picia jest niezbędnym warunkiem walki z ubóstwem. Bez zaspokojenia tej potrzeby sprawowanie opieki zdrowotnej jest niemożliwe. Dziś uważa się, że ograniczenie dostępu do wody to podstawowy czynnik rozwarstwienia pomiędzy krajami bogatej Północy i biednego Południa. Problematykę tą w skali globalnej dostrzega ONZ. Zgromadzenie Ogólne ONZ ogłosiło rok 2008 Międzynarodowym Rokiem Higieny, lata 2005-2015 Międzynarodową Dekadą Działania „Woda dla życia”, a 22 marca każdego roku jest Światowym Dniem Wody. Regularny dostęp do wody do spożycia jest jedną z podstawowych potrzeb człowieka, a podczas kryzysów humanitarnych staje się warunkiem przeżycia. Według UNESCO wskaźniki deficytu wody przedstawiają się następująco [14]:

- mały stres wodny - kraje, w których zużycie wody stanowi mniej niż 10% dostępnych zasobów,
- umiarkowany stres wodny – kraje, w których zużycie wody stanowi 10-20% dostępnych zasobów, jest to czynnik ograniczający rozwój,
- średni stres wodny – kraje, w których zużycie wody stanowi 20-40% dostępnych zasobów, istnieje potencjalna możliwość wybuchów konfliktów o źródła wody,
- duży stres wodny – kraje, w których zużycie wody przekracza 40% dostępnych zasobów, konieczna rozbudowa infrastruktury wodnej, naruszone zasady zrównoważonego rozwoju.

Mało znanym faktem jest, że Wyżyna Tybetańska nazywana jest „Trzecim Biegunem” gdyż po Biegunie Północnym i Południowym zawiera największą ilość niezbędnej do życia słodkiej wody. Poza tym na jej obszarze biorą swój początek największe azjatyckie rzeki (Jangcy, Mekong, Brahmaputra i Indus) stanowiące główne źródło zaopatrzenia w wodę Indii, Pakistanu, Chin oraz Bangladeszu. Istnieje więc potencjalny scenariusz wybuchu konfliktu o zasoby wodne Tybetu, tym bardziej, że proces wyczerpywania się zasobów wody stale postępuje, a dla Chin priorytetem jest samorozwój, bez uwzględnienia potrzeb innych państw azjatyckich.

## 8. Aspekt rynkowy w analizach i ocenach niezawodności i bezpieczeństwa SZZW

W gospodarce centralnie sterowanej i planowanej badaniami niezawodności i bezpieczeństwa sterowano odgórnie. Było to przyczyną nieadekwatności (zakłamaniami) danych przesyłanych do centrali lub dane były przedstawione w sposób „wygładzony” zgodnie z oczekiwaniami decydentów. W okresie przejściowym do gospodarki rynkowej nastąpiło zdecentralizowanie także związane z badaniami i analizami niezawodności i bezpieczeństwa. Zaobserwowano tendencję spadku podstawowych wskaźników, co mogło wynikać z ich urealnienia bądź motywowane było aspektami samofinansowania przedsiębiorstw wodociągowych zgodnie z wymaganiami wolnorynkowymi. Niestety nie przywiązywano do tego problemu należytej wagi. Pojawiły się jednak wymagania i oczekiwania odbiorców i konsumentów wody wodociągowej, a wraz z nimi wskaźniki konsumenckie niezawodności i bezpieczeństwa dostawy wody [19,20]. Przyczyną wszystkich tych zmian było urealnienie ceny dostawy 1m<sup>3</sup> wody wodociągowej. Tak więc w warunkach wolnorynkowych klasyfikacja i definicje stanów awaryjnych SZZW ulegają także pewnym przewartościowaniom. W krajach wysokorozwiniętych obserwuje się trend zastępowania kryteriów deterministycznych, kryteriami stochastycznymi probabilistycznymi i posybilistycznymi. Wskaźniki typowo techniczne oparte o częstość i czas trwania przerw w dostawie wody będą w dalszym ciągu wykorzystywane przy analizach techniczno-ekonomiczno-niezawodnościowych. Wyzwaniem stanie się przejście do wyznaczenia wskaźników niezawodności i bezpieczeństwa przydatnych do zarządzania ryzykiem przy projektowaniu i eksploatacji SZZW z opcją uwzględnienia wszystkich stron funkcjonowania rynku produkcji, dostawy i konsumpcji wody wodociągowej. Uzyskanie określonego poziomu niezawodności i bezpieczeństwa ze strony właściciela (operatora) SZZW wymaga nakładów finansowych, a niedostarczenie wody generuje koszty głównie po stronie odbiorców. Reguły wolnego rynku pozwalają na oszacowanie kosztów po stronie podaży i popytu. Należy jednak zauważyć, że odbiorca z reguły nie może zmienić operatora dostawy wody. Tak więc wolno rynkowa reguła ceny za jakość nie funkcjonuje w pełnym wymiarze. Obserwuje się, że władze samorządowe dążą do osiągnięcia pewnego społecznego optimum. Istnieją więc pozarynkowe bariery dostosowania poziomu niezawodności i bezpieczeństwa dostawy wody do potrzeb odbiorców. Przykładowo deficyty systemowe podaży wody dotyczą zwykle dużą liczbę odbiorców, ale już na poziomie dystrybucji wody poprzez sieć wodociągową można zindywidualizować poziom niezawodności i bezpieczeństwa.

Z perspektywy odbiorców wody funkcjonowanie SZZW powinno być zorientowane na klienta, gdzie odbiorca powinien mieć możliwość wyboru opcji dotyczącej jakości usługi i jej ceny. Można sobie wyobrazić sytuację, w której odbiorca może wybrać indywidualny poziom niezawodności i bezpieczeństwa poprzez wniesienie dodatkowej opłaty np. opartej o systemy ubezpieczeniowe lub bazując na oszacowaniach kosztów do efektywności. Towarzyszyć temu powinny analizy ponoszonych kosztów przez odbiorców wynikłych z niedostarczonej wody na wewnętrzne koszty przedsiębiorstwa wodociągowego. Pojawia się przy tym nowy rodzaj ryzyka – ryzyko cenowe wynikające z niepewności prognozowania popytu wrażliwego na cenę 1m<sup>3</sup> wody. Maksymalizacja zysku w gospodarce rynkowej często prowadzi do redukcji kosztów, co może stanowić pułapkę w odniesieniu do niezawodności i bezpieczeństwa. Szczególnie, gdy redukcja dotyka dobrze rozpoznanych kosztów remontów, usuwania awarii, osprzętowania, alternatywnych sposobów dostarczania wody itp.[6].

Wykonanie analiz finansowych w aspekcie zarządzania aktywami jest stosunkowo proste, ale określenie towarzyszących temu wskaźników niezawodności i bezpieczeństwa jest o wiele trudniejsze. Kluczowym więc staje się znalezienie równowagi pomiędzy minimalizacją kosztów operacyjnych i kapitałowych, a określonym poziomem niezawodności i bezpieczeństwa.

Czynniki wpływające na niezawodność SZZW przedstawiają się następująco:

- starzenie się obiektów liniowych i urządzeń,
- ograniczenia remontów,
- zwiększanie obciążeń obiektów liniowych i urządzeń,
- redukcja zakresu monitoringu i personelu z nim związanego.

Analizy niezawodności i bezpieczeństwa SZZW prowadzi się na następujących poziomach hierarchicznych:

- bilans zasobów wód,
- podsystem produkcji wody,
- podsystem przesyłu i dystrybucji wody

## 9. Założenia rozwoju zrównoważonego w odniesieniu do zasobów wód

Stosunkowo prostą miarą zrównoważonego rozwoju związaną z zasobami wodnymi jest iloraz rocznych poborów wody do zasobów odnawialnych. Zakłada się, że górnym kresem jest udział co najmniej 25% poboru wody z zasobów odnawialnych [34].

Drugim progiem, określającym kres dolny, jest założenie, że co najmniej 80% wody pobranej powinno wrócić w postaci tzw. „szarych” ścieków.

Koncepcję metody miar zrównoważonego rozwoju w stosunku do SZZW oparto o prace J. Pezzeyego [16]. Jakość życia obejmującą globalny komfort korzystania z zasobów wód opisuje hipotetyczny wskaźnik wywodzący się bezpośrednio z definicji rozwoju zrównoważonego. Można wyróżnić trzy kategorie związane z jakością korzystania z wód: trwałą, najbardziej efektywną i umożliwiającą przeżycie [14].

Rozwój zrównoważony, że wskaźnik mierzący jakość życia w sferze korzystania z wód nie będzie malejący w czasie.

Rozwój najbardziej efektywny oznacza, że średni wskaźnik mierzący jakość życia w sferze korzystania z wód w określonym czasie będzie osiągał maksimum, w porównaniu z innymi rozpatrywanymi wariantami.

Rozwój umożliwiający przeżycie oznacza, że wskaźnik mierzący jakość życia w sferze korzystania z wód nie będzie niższy od określonej minimalnej wartości, która umożliwia życie z punktu widzenia biologicznego.

Zakłada się hipotetycznie, że istnieje globalny wskaźnik jakości życia i zasobów wód, który za pomocą jednej zmiennej obejmuje wszystkie istotne aspekty z tym związane. Takie podejście pozwala na sformułowanie koncepcji ilościowego pomiaru matematycznego dla wyróżnionych trzech kategorii rozwoju zrównoważonego [16].

Założono, że zmienna  $Q$  mierzy jakość życia mieszkańców danej jednostki terytorialnej w zakresie komfortu korzystania z wód, a zmienna  $C$  istniejący tam kapitał zasobów wód. Z faktu, że zmienne te są funkcją czasu, do dalszych rozważań przyjęto  $Q(t)$  i  $C(t)$ . Kolejnym założeniem jest, że  $Q(t)$  i  $C(t)$  są różniczkowalne, a  $Q(t)$  dodatkowo całkowalna w rozpatrywanym przedziale czasu  $[0, T]$ . Definicje trzech kategorii rozwoju w zakresie korzystania z wód w zapisie matematycznym przedstawiają się następująco:

- dla rozwoju zrównoważonego

$$\frac{dQ(t)}{dt} \geq 0 \quad (1)$$

$$\frac{dC(t)}{dt} \geq 0 \quad (2)$$

- dla najbardziej efektywnego rozwoju

$$\int_0^t Q(t) dt > \int_0^t Q_n(t) dt \quad (3)$$

gdzie:

$n$  – oznacza numerację pozostałych rozpatrywanych wariantów,

- dla rozwoju zapewniającego przeżycie

$$Q(t) \geq Q_{\min} \quad (4)$$

Przedstawiona propozycja nie jest rozwiązaniem docelowym ani metodą do bezpośredniego stosowania. Ma jednak na celu wskazanie kierunku badań naukowych w zakresie zrównoważonego rozwoju związanego z funkcjonowaniem SZZW [20].

## 10. Analiza i ocena zagrożenia ludności i mienia w przypadku awarii systemów wodociągowych

### 10.1 Założenia metody

Ustawa z 7 czerwca 2001 roku o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków podaje delegację do ministra właściwego do spraw zdrowia publicznego do określania w drodze rozporządzenia wymagań dotyczących jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Nowe rozporządzenie (Dz.U. z 2015 roku poz. 1989) weszło w życie 28 listopada 2015 roku. Obecnie informacje o pogorszeniu jakości wody (nie odpowiada ona wymaganiom określonym w załącznikach do rozporządzenia) przedsiębiorstwo wodociągowe jest obowiązane przekazywać w terminie nie dłuższym niż 7 dni roboczych do właściwego państwowego inspektora sanitarnego oraz wójta, burmistrza lub prezydenta miasta.

Rozszerzono zakres informacji zawartych we wniosku o udzielenie zgody na odstępstwo w zakresie:

- powodów, dla których nie można dostarczyć wody o wymaganej jakości,
- uzasadnienia wraz ze wskazaniem działań mających na celu zapewnienie wody o odpowiedniej jakości,
- analizę studialną przygotowaną przez placówkę naukową prowadzącą działalność w zakresie zdrowia publicznego, dotyczącą wpływu odstępstwa (stężenia i czasu trwania) na zdrowie konsumentów wody wodociągowej.

Poza tym wprowadzono obowiązek przekazywania systematycznego (co 3 miesiące) szczegółowego sprawozdania z podejmowanych działań naprawczych oraz działań planowanych do podjęcia w następnym okresie sprawozdawczym.

Informacje dla konsumentów o jakości wody obejmują obecnie także dane o udzielonych zgodach na odstępstwo od dopuszczalnych parametrów.

Standardowe informacje dla mieszkańców o jakości wody powinny zawierać:

- obszar gminy objęty badaniami wody,
- obszar gminy nieobjęty badaniami wraz ze wskazaniem powodów,
- zagrożenia wynikające z braku badań jakości wody,
- określenie czynności, które powinny być podjęte w celu ochrony zdrowia przed zanieczyszczoną wodą.

Przepisy rozporządzenia stosuje się także do wody z indywidualnych ujęć wody zaopatrujących poniżej 50 osób lub dostarczających mniej niż 10m<sup>3</sup>/d.

Ryzyko związane z funkcjonowaniem systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę (=SZZW) jest to możliwość wystąpienia zdarzenia niepożądanego mającego wpływ na realizację celu, którym jest bezpieczna dostawa wody do spożycia użytkownikom wodociągu publicznego. Według międzynarodowego standardu ISO na ocenę ryzyka składa się jego identyfikacja, analiza, oszacowanie oraz ewaluacja [10,11]. Metoda Analizy i Oceny Zagrożenia Ludności i Mienia wymaga określenia górnych granic ryzyka tolerowanego i kontrolowanego [5]. Celem zarządzania ryzykiem jest sprowadzenie jego wielkości do poziomu co najmniej tolerowanego, a najlepiej do poziomu ALARP [4]. Nowością metody jest rozgraniczenie strat materialnych oraz ludzkich [22].

W zarządzaniu kryzysowym właściwa ocena ryzyka jest podstawą podejmowania działań dla skutecznego i efektywnego zapewnienia bezpieczeństwa [22]. Przez działania skuteczne należy rozumieć w pełni osiągnięcie założonych celów. Z kolei za efektywne uznaje się uzyskanie określonych rezultatów.

## 10.2 Opis metody

Metody analizy ryzyka opracowywane są głównie z myślą spełnienia potrzeb inżynierii bezpieczeństwa [23,24]. To z kolei implikuje wykorzystanie ocen ryzyka w zarządzaniu kryzysowym. Ustawa o zarządzaniu kryzysowym obliuguje szacowanie ryzyka w odniesieniu co najmniej do strat ludzkich (zejścia śmiertelne, zaginieni, ranni wymagający hospitalizacji oraz kwalifikowanej pomocy lekarskiej) oraz strat w mieniu. Z klasycznej definicji ryzyka wynika, że jego szacowanie polega na pomnożeniu prawdopodobieństwa lub częstości występowania zagrożenia przez prognozowane straty. Oszacowanie ryzyka wymaga określenia wartości obu czynników. Wspólne rozpatrywanie szkód ludzkich i strat materialnych budzi zastrzeżenia natury etycznej.

Z tego względu oddzielenie należy kategoryzować ryzyko związane ze stratami materialnymi i szkodami ludzkimi. Metoda Analizy Zagrożeń Ludności i Mienia (ang. People and Property Hazard Analysis – PPHA) zakłada przyjęcie skal pięciostopniowych dla poszczególnych czynników ryzyka – bardzo małe, małe, średnie, duże, bardzo duże) [19,20].

## 10.3 Problematyka oszacowania prawdopodobieństwa

Oszacowanie prawdopodobieństwa zagrożenia można dokonać w oparciu o zmodyfikowany rozkład Bernoulliego [1]. Klasyczny wzór Bernoulliego na prawdopodobieństwo uzyskania  $k$  sukcesów w  $n$  próbach przedstawia się następująco:

$$P(k) = \binom{n}{k} p^k \cdot q^{n-k} \quad (5)$$

gdzie:

$P$  – prawdopodobieństwo sukcesu,

$q = 1 - p$  – prawdopodobieństwo porażki,

$k$  – liczba sukcesów,

$n$  – liczba prób.

Zakładając, że:

$$P(A) = 1 - P(A_1) \quad (6)$$

z kolei:

$$P(A_1) = \binom{n}{k} p^k \cdot q^{n-k} \quad (7)$$

oraz dla zdarzenia  $A_1$ ,  $n = k$ , zaś  $p = 1 - y$ , wówczas wzór (2) przyjmuje postać:

$$P(A) = 1 - \left[ \binom{n}{k} p^k \cdot q^{n-k} \right] = 1 - \left[ 1 \cdot (1 - y)^n \cdot q^0 \right] = 1(1 - y)^n \quad (8)$$

gdzie:

$y$  – częstość występowania zagrożenia  $A$ , jest to wartość otrzymana z doświadczenia i identyfikowana może być z prawdopodobieństwem a posteriori.

Określając perspektywę czasową, dla której oblicza się prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia należy uwzględnić nie tylko założony czasookres analizy prospektywnej  $N$ , ale także czas, jaki upłynął od roku, kiedy to po raz ostatni wystąpiło zagrożenia. Tak więc:

$$n = N + (n_1 - n_2) \quad (9)$$

gdzie:

$n_1$  – rok, w którym przeprowadzona jest analiza,

$n_2$  – rok, w którym po raz ostatni wystąpiło zagrożenie,

$N$  – czasookres analizy prospektywnej.

### Przykład aplikacyjny

W roku 2011 dokonano oszacowania prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia skażenia źródła poboru wody powierzchniowej na ujęciu wody. W okresie 30 lat (od roku 1981) skażenie wystąpiło czterokrotnie, a po raz ostatni w roku 2010. Jakie jest prawdopodobieństwo wystąpienia skażenia w perspektywie 5 lat.

$$n = 5 + (2011 - 2010) = 6$$

$$p = \frac{4}{30} = 0,1333$$

$$P(A) = 1 - (1 - p)^n = 1 - (1 - 0,1333)^6 = 0,57615$$

Ponownie dokonano oszacowania prawdopodobieństwa skażenia wody w roku 2016, także z perspektywą 5 następnych lat. Ostatnie zagrożenie wystąpiło bez zmian, czyli w 2010 roku:

$$n = 5 + (2016 - 2010) = 11$$

$$p = 0,1333$$

$$P(A) = 1 - (1 - 0,1333)^{11} = 0,79272$$

Prawdopodobieństwo wystąpienia skażenia wody w latach 2011-2016 wynosiło 0,57615, a w latach 2016-2021 wzrasta do wartości 0,79272.



W tabeli 1 zaprezentowano skalę kategorii częstości i prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia niepożądanego.

*Tabela 1. Kategorie częstości i prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia*

<b>Kategoria</b>	<b>Częstość - f</b>	<b>Prawdopodobieństwo - P</b>
<b>Bardzo małe</b>	od 1 raz na 100 lat do 1 raz na 50 lat	0,01 – 0,02
<b>Małe</b>	od 1 raz na 50 lat do 1 raz na 20 lat	0,02 – 0,05
<b>Średnie</b>	od 1 raz na 20 lat do 1 raz na 5 lat	0,05 – 0,2
<b>Duże</b>	od 1 raz na 5 lat do 1 raz na 2 lata	0,2 – 0,5
<b>Bardzo duże</b>	od 1 raz na 2 lata do co najmniej 1 raz w roku	>0,5

### Problematyka oszacowania strat materialnych

Oszacowanie strat materialnych, będących następstwem wystąpienia zdarzenia niepożądanego jest zdaniem złożonym i wieloaspektowym [9]. Wycena majątku ludności, przedsiębiorstw, nieruchomości itp. podlega bieżącej koniunkturze. W pracy za miarę strat przyjęto odsetek od dochodów JST. W tabeli 2 zaprezentowano skalę kategorii wielkości strat materialnych.

*Tabela 2. Kategoria strat materialnych*

<b>Kategoria</b>	<b>Wielkość strat materialnych - C</b>
<b>Bardzo małe</b>	do 2% rocznych dochodów JST
<b>Małe</b>	do 5% rocznych dochodów JST
<b>Średnie</b>	do 15% rocznych dochodów JST
<b>Duże</b>	do 30% rocznych dochodów JST
<b>Bardzo duże</b>	powyżej 30% rocznych dochodów JST lub brak możliwości uchwalenia budżetu na kolejny rok z powodu przekroczenia indywidualnego wskaźnika zadłużenia [8]

### Problematyka strat ludzkich

Przyjęto wskaźnik stosowany w analizach i ocenach wypadków podczas pracy. Wskaźnik częstości wypadków podaje liczbę zdarzeń niepożądanych na 1000 zatrudnionych w danym sektorze gospodarki. Przez analogię przyjęto liczbę zdarzeń niepożądanych na 1000 osób korzystających z wodociągu publicznego. Wyróżniono 3 rodzaje strat ludzkich:

- udzielenie kwalifikowanej pomocy lekarskiej -  $F_{pl}$ ,
- wymagana hospitalizacja –  $F_h$ ,
- zejścia śmiertelne –  $F_{zs}$ .

W tabeli 3 zaprezentowano skalę kategorii uciążliwości strat ludzkich.

Tabela 3. Kategoria strat ludzkich

Kategoria	Wskaźnik strat ludzkich		
<b>Bardzo małe</b>	$F_{pl} \leq 5$	$F_h = 0$	$F_{zs} = 0$
<b>Małe</b>	$F_{pl} \leq 25$	$F_h \leq 2$	$F_{zs} = 0$
<b>Średnie</b>	$F_{pl} \leq 100$	$F_h \leq 20$	$F_{zs} \leq 0,05$
<b>Duże</b>	$F_{pl} \leq 250$	$F_h \leq 100$	$F_{zs} \leq 0,5$
<b>Bardzo duże</b>	$F_{pl} > 250$	$F_h > 100$	$F_{zs} > 0,5$

### Przykład aplikacyjny

W gminie korzysta z wodociągu grupowego LM = 4000 osób. Dla zdarzenia niepożądanego związanego z wtórnym zanieczyszczeniem wody w sieci wodociągowej oszacowano  $F_{pl} = 20$ ,  $F_h = 0$  i  $F_{zs} = 0$ . Liczba osób, której udzielić należy kwalifikowanej pomocy lekarskiej wynosi:

$$\frac{LM \cdot F_{pl}}{1000} = \frac{4000 \cdot 20}{1000} = 80 \text{osób}$$

## 10.4 Trójparametryczna matryca ryzyka

W metodzie ryzyko określa się ze wzoru:

$$r = P \cdot C \cdot F \quad (10)$$

gdzie:

P – prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia,

C – straty materialne,

F – straty ludzkie

W tabeli 4 przedstawiono trójparametryczną matrycę ryzyka, która w oparciu o wzór (10) pozwala oszacować wielkość ryzyka.

Tabela 4. Matryca trójparametryczna

<b>F</b>	<b>P</b> <b>BM = 1</b>				
	<b>C</b>				
	<b>BM = 1</b>	<b>M = 2</b>	<b>S = 3</b>	<b>D = 4</b>	<b>BD = 5</b>
<b>BM = 1</b>	1	2	3	4	5
<b>M = 2</b>	2	4	6	8	10
<b>S = 3</b>	3	6	9	12	15
<b>D = 4</b>	4	8	12	16	20
<b>BD = 5</b>	5	10	15	20	25
<b>F</b>	<b>P</b> <b>M = 2</b>				
	<b>C</b>				
	<b>BM = 1</b>	<b>M = 2</b>	<b>S = 3</b>	<b>D = 4</b>	<b>BD = 5</b>
<b>BM = 1</b>	2	4	6	8	10
<b>M = 2</b>	4	8	12	16	20
<b>S = 3</b>	6	12	18	24	30
<b>D = 4</b>	8	16	24	32	40
<b>BD = 5</b>	10	20	30	40	50
<b>F</b>	<b>P</b> <b>S = 3</b>				
	<b>C</b>				
	<b>BM = 1</b>	<b>M = 2</b>	<b>S = 3</b>	<b>D = 4</b>	<b>BD = 5</b>
<b>BM = 1</b>	3	6	9	12	15
<b>M = 2</b>	6	12	18	24	30
<b>S = 3</b>	9	18	27	36	45
<b>D = 4</b>	12	24	36	48	60
<b>BD = 5</b>	15	30	45	60	75
<b>F</b>	<b>P</b> <b>D = 4</b>				
	<b>C</b>				
	<b>BM = 1</b>	<b>M = 2</b>	<b>S = 3</b>	<b>D = 4</b>	<b>BD = 5</b>
<b>BM = 1</b>	4	8	12	16	20
<b>M = 2</b>	8	16	24	32	40
<b>S = 3</b>	12	24	36	48	60
<b>D = 4</b>	16	32	48	64	80
<b>BD = 5</b>	20	40	60	80	100
<b>F</b>	<b>P</b> <b>BD = 5</b>				
	<b>C</b>				
	<b>BM = 1</b>	<b>M = 2</b>	<b>S = 3</b>	<b>D = 4</b>	<b>BD = 5</b>
<b>BM = 1</b>	5	10	15	20	25
<b>M = 2</b>	10	20	30	40	50
<b>S = 3</b>	15	30	45	60	75
<b>D = 4</b>	20	40	60	80	100
<b>BD = 5</b>	25	50	75	100	125

W proponowanej metodzie, ze względu na cele funkcjonowania JST, wyróżnia się trzy poziomy ryzyka:

- ryzyko tolerowane – od 1 do 15,
- ryzyko kontrolowane – od 16 do 45,
- ryzyko nieakceptowalne – od 48 do 125.

## 11. Podsumowanie

- Suverenne państwa powinny dokładać wszelkich starań mających na celu ochronę międzynarodowych zasobów wód, przyczyniając się do ich przetrwania dla przyszłych pokoleń.
- Koncepcja zaspokojenia potrzeb wodnych poprzez rozbudowę infrastruktury może być uzupełniona procesami zarządzania popytem na wodę. Najbardziej rozpowszechnione jednokrotne użycie wody powinno być zastępowane wielokrotnym użyciem wody w oparciu o odnowę wód zużytych. Szara infrastruktura, czyli elementy wykonane z żelbetu, betonu, tworzyw sztucznych, metalu powinna być zastępowana zieloną infrastrukturą zabudowaną z materiałów naturalnych – rośliny, grunty.
- Uświadczenie znaczenia wirtualnej wody rodzi jednak już geopolityczne implikacje w zakresie potrzeb i zależności między państwami. Sceptycy twierdzą, że dojdzie do monopolu zarządzania wirtualną wodą i trudnych do przewidzenia zmian na rynkach kapitałowych. Już dzisiaj kraje ubogie w zasoby wodne redukują zapotrzebowanie w tym zakresie poprzez import zbóż, rozwijając jednocześnie uprawy o mniejszych potrzebach wodnych. Koncepcja śladu wodnego i wirtualnej wody łączy problemy rolnictwa, klimatu, ekonomii i polityki w aspekcie zrównoważonego rozwoju. Suverenne państwa powinny dokładać wszelkich starań mających na celu ochronę międzynarodowych zasobów wód, przyczyniając się do ich przetrwania dla przyszłych pokoleń.
- Rozwiązywanie konfliktów o wodę na drodze militarnej zawsze przynosi straty strom biorącym w nich udział. Analizy ekonomiczne wskazują, że za cenę tygodniowych lokalnych działań wojennych można by wybudować np. 5 stacji odsalania wody, co skutkuje tym, że przegrany nie będzie następnego pokolenie danych społeczności. Bezpieczeństwo wodne jest synonimem możliwości zapewnienia dostępu do wody każdemu człowiekowi, bez względu na ustrój polityczny i warunki społeczno-gospodarcze oraz unormowania prawne. Chodzi tylko, żeby ten dostęp dotyczył czystej, smacznej i zdrowej wody – bezpiecznej wody. Działania ukierunkowane na bezpieczeństwo wodne cechuje wspólnie wieloaspektowość uwarunkowana powiązaniem i relacjami instytucjonalnymi, regionalnymi, krajowymi i międzynarodowymi o charakterze przede wszystkim prawnym.
- We współczesnym świecie współistnienia bogactwa z biedą, wszechobecna globalizacja może mieć dwojaki wymiar wobec bezpieczeństwa wodnego. Pierwszym scenariuszem politycznym rządzących może być właściwa gospodarka wobec dystrybucji zasobów wód. Drugi scenariusz polega na kierowaniu się szczególnymi celami, co skutkuje niewłaściwą dystrybucją zasobów wód i wówczas można mówić o braku bezpieczeństwa wodnego.

- Istnieje możliwość ubezpieczenia zarówno w sytuacji ryzyka braku wody, jak i jej nadmiaru. Ryzyko suszy podlegające obowiązkowemu ubezpieczeniu upraw rolnych, jest trudniejsze do zaakceptowania niż ryzyko powodzi czy huraganu. Z doniesień środków masowego przekazu i literatury naukowej wynika, że powodzie trwają znacząco krócej niż susze, a skutki długotrwałej suszy są bardziej znaczące.
- Metodyka analizy i oceny ryzyka z założenia Autora ma być prosta, z możliwością aplikacji na różnych szczeblach JST. Może ona być wykorzystana do wstępnych oszacowań zagrożeń i rodzajów ryzyk z nimi związanych. Metoda może być bardzo łatwo adaptowana na inne systemy gospodarki komunalnej podległe JST. Przedstawiona w pracy metoda Analizy Zagrożeń Ludności i Mienia (ang. *PPHA*) jest pewnego rodzaju rozwinięciem metody Wstępnej Analizy Zagrożeń (ang. *PHA*). Umożliwia ona uwzględnienie osobno strat ludzkich i materialnych w przyjętej perspektywie planowania poprzez kategorię określania prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia niepożądanego. Metoda Analiza Zagrożeń Ludności i Mienia może stanowić narzędzie planistyczne w zarządzaniu kryzysowym na poziomie JST [32].
- Fundamentalne prawo człowieka do życia wiąże się z prawem do czystej wody. Dyrektor generalny UNESCO Koichiro Matsuura problem ten przedstawił w następujących słowach „...ze wszystkich kryzysów społecznych i naturalnych, jakim ludzkość musi stawić czoła, kryzys wodny jest tym, który najbardziej dotyczy kwestii przeżycia naszego i naszej planety. Od nas zależy, czy i w jakim stopniu sobie z nim poradzimy...”.

## 12. Retrospekcja zamiast wniosków

Patrząc w przyszłość trzeciego tysiąclecia można zadać pytanie, jakie są szanse na stworzenie nowych narzędzi sprawowania kontroli nad rozległymi obszarami ryzyka [17]. Ciągłe trwają interdyscyplinarne prace nad zrozumieniem natury i istoty ryzyka. Naukowcy odnoszą wrażenie, że mimo wielu wprost genialnych pomysłów i opracowanych metod (przede wszystkim matematycznych i statystycznych), to nieregularność, brak ciągłości oraz wszechobecna zmienność nasilają się, zamiast zanikać [13]. W świecie globalnych powiązań kontrolowanie i zarządzanie ryzykiem staje się niestety coraz bardziej skomplikowane. Brak stosownych zabezpieczeń przed różnego rodzaju niepożądanymi zdarzeniami prawie codziennie jest pierwszoplanowym tematem środków masowego przekazu. Albert Einstein wierzył w kompletny porządek i prawa rządzące światem, które póki, co ludzie nie są w stanie ogarnąć. Analizując rozwój cywilizacji trzeba stwierdzić, że kaprysy natury kryją coraz mniej tajemnic, ale jednocześnie coraz bardziej znaczące są decyzje człowieka w obliczu ich wystąpienia. Na problematykę podejmowania decyzji w obliczu ryzyka zwrócił uwagę w XX wieku Knight Keynes [2]. Spowodowało to rozwój teorii zachowań behawioralnych. Zaczęto poszukiwać przyczyn niedokładności świata za pomocą teorii chaosu. Przebiło się stwierdzenie, że nieliniowość, czyli, że skutek nie jest proporcjonalny do wywołującej go przyczyny. W świecie chaosu nieokleśniona natura rzeczywistości ciągle czeka, by się ujawnić. Kolejne metody „przepowiadania przyszłości” związane są z algorytmami genetycznymi. Sieci neuronowe naśladują zachowania ludzkiego umysłu.

Stosując te metody dochodzi się do schematów zachowań, które można powielać w różnych systemach, ponieważ systemy np. techniczne mają wspólne schematy zachowań i reakcji. Ciągłe nie ma jednak niemal żadnej gwarancji, że dzisiejsze wydarzenia przyniosą jutro określone skutki. Wynika to z filozoficznego stwierdzenia, że pozory prawdy nie są prawdą. Jedno jest pewne, że te nowe trendy w nauce dają ludziom wyobrażenie o złożoności otaczającej rzeczywistości, co znajduje odzwierciedlenie np. w stosowanych o ogromnych mocach komputerów wykorzystywanych w tego rodzaju badaniach naukowych. Ograniczenia, jakie napotykają współcześni odkrywcy nowych metod opisu ryzyka przypominają przez analogię trudności twórców klasycznych teorii rachunku prawdopodobieństwa, którzy dane pochodzące z przeszłości wykorzystywali w swoich modelach do opisu przyszłych zdarzeń.

Komputer potrafi niestety tylko odpowiadać na zadane przez nas pytania, ale nie umie ich sam sformułować. Mimo to wnioski płynące z analiz komputerowych danych liczbowych są bardziej precyzyjne niż intuicja, czy domysły i z tego powodu należy z nich korzystać. Nasuwa się jednak kolejna analogia, że współczesny komputer zastąpił starożytne wyrocznie, do których odwoływano się w tamtych czasach prosząc o wsparcie w sytuacjach podejmowania decyzji w warunkach ryzyka. W obu przypadkach beneficjenci wydawali i wydają się być równie usatysfakcjonowani z otrzymywanych odpowiedzi.

Na przestrzeni ostatnich 500 lat rozwój metod ilościowych rozpoznania ryzyka kształtował postęp cywilizacyjny [4]. Wszystko to zawdzięczmy intelektowi wybitnych myślicieli, takich jak: hazardzista z epoki renesansu G. Cardano, wybitnie uzdolniony samouk B. Pascal, zakonnicy z podparyskiego klasztoru Port-Royal, prawnik P. Fermat, szwajcarski ród Bernoullich, by wymienić fanatyków matematyki Daniela i jego wuja Jacoba, nobliwy O. Morgenstern, uszczypliwy F. Galton, pobożni A. de Moivre i T. Bayes, tajemniczy C.F. Gauss i P.S. de Laplace, pełen wigoru astronom E. Halley, uwielbiający żarty J. von Neumann, agnostyk F. Knight, ekonomiści J.M. Keynes, K. Arrow, H. Markowitz, otwarci na możliwości kontrolowania ryzyka przez człowieka D. Kahneman i A. Tversky [2].

Wszyscy oni i wielu innych przyczynili się do zmiany postrzegania ryzyka przez ludzką, poprzez wyrafinowane, oparte na rachunku prawdopodobieństwa prognozy, pozwalające przejść od bezradności do możliwości wyboru. Żyli w różnych czasach, posiadali różne osobowości, mieli różne przekonania światopoglądowe, ale łączyła ich chęć rozpoznania istoty i natury ryzyka [2].

## Bibliografia

- 1) Aven T.; Risk Analysis: Assessing Uncertainties beyond Expected Values and Probabilities. Wyd. John Wiley & Sons. 2008.
- 2) Bernstein P. L.: Przeciw bogom – niezwykle dzieje ryzyka. Wydawnictwo WIGPress. Warszawa, 1997.
- 3) Chapagain A., Hoekstra A.Y.: Water footprint of Nations. vol.1. Main Report UNESCO-IHE Delft. The Netherlands 2003.
- 4) Clifton A.E.; Hazard Analysis techniques for System Safety, Hoboken. Wyd. John Wiley & Sons. 2005.
- 5) Cooper D.F, Gray S., Geoffrey R., Walker P.; Project Risk management Guidelines. Managing Risk in Large Projects and Complex Procurements. Chippenham: Wyd. John Wiley & Sons. 2005.
- 6) Dymaczewski W.; Sozański M.M.; Wodociągi i kanalizacja w Polsce, tradycja i współczesność. Wydawnictwo Polskiej Fundacji Ochrony Zasobów Wodnych. Poznań – Bydgoszcz, 2002.
- 7) Gleick P.H.: The human right to water. t.1, nr 5, s. 487-503. „Water Policy” 1999.
- 8) Gołębiowski J.; Zarządzanie kryzysowe w świetle wymogów bezpieczeństwa. Wyd. Szkoły Aspirantów Państwowej Straży Pożarnej. Kraków 2011.
- 9) Hoekstra A.Y.: Virtual water trade. Water Research Report, Series IHE Nr 12. Rzym 2003.
- 10) ISO, 2009a, International Standard ISO/FDIS 31000. Risk management – Principles and guidelines, Geneva: International Organization For Standardization.
- 11) ISO, 2009b, ISO Guide 73. Risk management – Vocabulary, Geneva: International Organization For Standardization.
- 12) Kowalczak P.: Konflikty o wodę. Wydawnictwo Kurpisz S.A. Przeźmierowo 2007 .
- 13) Kulwicki E.; Optymalizacja działalności gospodarczej w warunkach niepewności. Zeszyt Naukowy nr 2. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, 1997.
- 14) Kundzewicz Z.W.: Gdyby mała wody miarka...Zasoby wodne dla zrównoważonego rozwoju. Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa, 2000.
- 15) Mioduszewski W.: Woda wirtualna-woda do produkcji żywności. Gospodarka Wodna nr 5. Wydawnictwo Sigma-NOT, Warszawa 2006, s. 173-178.
- 16) Pezzey J.: Sustainable development concepts, an economic analysis; Word Bank Environmental Paper No.2, The Word Bank. Washington, 1992.
- 17) Rak J. R.: Bezpieczeństwo systemów zaopatrzenia w wodę. Polska Akademia Nauk, Instytut Badań Systemowych. Warszawa 2009.
- 18) Rak J.R.: Bezpieczna woda wodociągowa. Zarządzanie ryzykiem w systemie zaopatrzenia w wodę. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów 2009.
- 19) Rak. J.R.: Istota ryzyka w funkcjonowaniu systemów zaopatrzenia w wodę. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów 2004.
- 20) Rak J.R.: Podstawy bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk.vol.28. Lublin 2005.
- 21) Rak J.R.: Problematyka ryzyka w wodociągach. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów 2014.
- 22) Rak J.R.: Wybrane aspekty bezpieczeństwa systemów wodociągowych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów 2015.
- 23) Rak J.R.: Wybrane zagadnienia niezawodności i bezpieczeństwa w zaopatrzeniu w wodę. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów 2008.

- 24) Rak J.R., Kwietniewski M.: Bezpieczeństwo i zagrożenia systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów 2011.
- 25) Rak J.R., Tchórzewska-Cieślak B.: Czynniki ryzyka w eksploatacji systemów zaopatrzenia w wodę. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów 2007.
- 26) Rak J.R., Tchórzewska-Cieślak B.: Metody analizy i oceny ryzyka w systemie zaopatrzenia w wodę. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów 2005.
- 27) Rak J.R., Tchórzewska-Cieślak B.: Ryzyko w eksploatacji systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę. Wydawnictwo Seidel-Przywecki Sp. z o.o. Rzeszów 2013.
- 28) Rak J.R., Tchórzewska-Cieślak B., Studziński J.: Bezpieczeństwo systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę. Wydawca: Instytut Badań Systemowych PAN. Warszawa 2013.
- 29) Rak J.R. i inni: Metody oceny niezawodności i bezpieczeństwa dostawy wody do odbiorców. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów 2013.
- 30) Rak J.R. i inni: Niezawodność i bezpieczeństwo systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów 2012.
- 31) Stępniewska M.: Ile wody naprawdę zużywamy? Ocena śladu wodnego Polaków związanego z konsumpcją żywności. Gospodarka Wodna nr 9/2014, Wydawnictwo Sigma-NOT. Warszawa 2014, str. 321-324
- 32) Ustawa z dnia 26 kwietnia 2007 r. o zarządzaniu kryzysowym (Dziennik Ustaw z 2007 r., Nr 89, poz. 590 ze zm.).
- 33) Ustawa a dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (Dziennik Ustaw z 2001 r., Nr 62, poz. 627 ze zm.).
- 34) Yoffe S. B.; Giordano M.; Wolf A. T.: International Waters: Identifying Basins at Risk. Water Policy No 1 (5), 2003.